

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Konetekniikka
Tuotantotekniikka ja kunnossapito

Juho Mätinki

Hiekanerotuksen optimointi ja käyttövarmuuden parantaminen havukuitulinjalla

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Juho Mätinki

Hiekanerotuksen optimointi ja käyttövarmuuden parantaminen havukuitulinjalla,
41 sivua, 1 liite

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Konetekniikan koulutusohjelma

Tuotantotekniikan ja kunnossapidon suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Tuomo Liimatainen, LAB-ammattikorkeakoulu, kunnossapitoinsinööri Olli Kanninen, UPM-Kymmene Kaukas

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Kaukaan sellutehtaan havukuitulinjan oksanerotuksen sekä hienolajittelun hiekanerotusta. Opinnäytetyössä tarkasteltiin erikseen hiekanerotukseen tarkoitettua laitteistoa. Ongelmat hiekanerotuksessa aiheuttivat prosessilaitteiden nopeaa kulumista sekä lopputuotteen laadun heikkenemistä.

Opinnäytetyössä pyrittiin löytämään laitteistoille optimaaliset säätöarvot hiekanerotuksen saamiseksi halutulle tasolle. Komponenttien, erityisesti kartioiden, nopea kuluminen aiheutti katkoksia laitteiston toiminnassa, mikä johti tarpeettomiin tuotannonmenetyksiin. Oikeita säätöarvoja etsittiin laitevalmistajan vanhojen ohjeiden mukaan. Laitteistoon oli kuitenkin tehty muutoksia, jotka tekivät sen säätämisen mahdottomaksi, esimerkiksi osa tarvittavista mittalaitteista olivat rikkoon tuneet. Jotta laitteistoa päästiin säätämään, se piti palauttaa tilaan, jossa se oli toimitushetkellä. Tämän jälkeen etsittiin oikeita säätöarvoja laitteiston optimaalisen toiminnan takaamiseksi. Säätöjä jouduttiin muokkaamaan useita kertoja, jotta päästiin haluttuun lopputulokseen.

Laitteiston vikaantumistiheys pienentyi optimoinnin myötä. Laitteiston toimintaa pystytään edelleen parantamaan, mutta se vaatii muokkauksia. Laimennusveden sijainti tulisi siirtää eri paikkaan ja laimennuksessa käytettävä neste tulisi vaihtaa puhtaaksi vedeksi nykyisen mustalipeän sijaan. Syötettävän nesteen virtausmäärä tulisi selvittää virtausmittauksen avulla. Tällöin vikatilanteessa yhden hiekanerottimen mennessä epäkuuntoon voitaisiin säätää virtaus sopivaksi jäljellä oleville erottimille. Olisi myös harkittava siirtymistä paremmista materiaaleista valmistettuihin kartioihin. Käytöstä poistetuista kartioista voidaan päätellä, että kuluminen on johtunut huonosta kartion geometriasta.

Asiasanat: hiekanerotus, hydrosykloni, pyörrepuhdistin

Abstract

Juho Mätinki

Optimizing and improving reliability of sand separation in softwood fiber line, 41 pages, 1 appendix

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Mechanical Engineering

Production engineering and maintenance

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Senior lecturer Mr. Tuomo Liimatainen, LAB University of Applied Sciences, Mr. Olli Kanninen, Engineer, Mechanical Maintenance, UPM-Kymmene Kaukas

The purpose of this study was to improve the pulp mill's softwood fiber line sand separation. Problems in sand separation caused rapid wear of the process equipment and possible deterioration in the quality of the final product.

The aim of the thesis was to find the optimal control values for the equipment in order to get the sand separation to the desired level. Rapid wear of components, especially cones, caused interruptions in equipment operation, leading to unnecessary production losses. The correct adjustment values were searched for according to the equipment manufacturer's old instructions. However, changes had been made to the equipment which made it impossible to adjust it, for example the necessary measuring equipment had broken down. In order to the equipment to be adjusted, it had to be returned to the state it was in the time of delivery. The correct control values were then sought to ensure the optimal operation of the equipment. The adjustments had to be modified several times to achieve the desired results.

The hardware failure rate decreased after optimization. The operation of the equipment can be further improved, but it requires modifications. The location of the dilution water should be moved to a different location and the dilution liquid should be changed to clean water instead of the current black liquor. The flow rate of the liquid to be fed to the system should be determined by flow measurement. In the event of a fault, if one sand separator fails, the flow could be adjusted to suit the remaining sand separators. Consideration should also be given to moving to cones made of better materials. From removed cones, it can be concluded that the wear was due to poor cone geometry.

Keywords: sand separation, hydrocyclone, cyclone separator

Sisällys

Käsitteet.....	5
1 Johdanto.....	6
2 Yritysesittely.....	6
2.1 UPM-Kymmene Oyj.....	6
2.2 UPM:n liiketoiminnot.....	7
2.3 UPM Kaukas.....	7
3 Opinnäytetyön tavoitteet.....	9
4 Sellunvalmistuksen teoria.....	9
4.1 Puunkäsittely.....	9
4.2 Keitto.....	10
4.3 Pesu.....	11
4.4 Lajittelu.....	12
4.5 Valkaisu.....	15
4.6 Kuivatus.....	15
5 Hiekanerotuksen teoria.....	20
6 Optimointi.....	24
6.1 Ajoparametrit.....	24
6.1.1 Ympäröivä prosessi oksanerotuksessa.....	27
6.1.2 Ympäröivä prosessi hienolajittelussa.....	28
6.2 Ohjelmallinen optimointi.....	28
6.3 Kuituhäviön minimointi.....	29
7 Käyttövarmuus.....	29
7.1 Materiaalivalinnat.....	29
7.2 Huolto.....	29
7.2.1 Geometria.....	30
7.2.2 Materiaali.....	34
7.2.3 Pinnoitteet.....	35
7.2.4 Kustannukset.....	37
8 Laitteparannukset.....	37
8.1 Komponentit.....	37
8.2 Mittaukset.....	38
9 Yhteenveto ja pohdinta.....	39
Lähteet.....	41

Liitteet

Liite 1 Laboratorionäyte

Käsitteet

Abrasiivinen kulutus = pintaan tunkeutuvan partikkelin aiheuttama kulutus

Aksepti = lajittelussa talteen otettava haluttu jae

Apeksi = hiekanerottimen kartion alareuna, jonka alle kulkeutuessa partikkeli ei enää voi palautua akseptiksi

Ilmasydän = hiekanerottimen keskelle syntyvä ylöspäin suuntautuva pyörre, jonne aksepti kulkeutuu

Kaskadiohjaus = ohjaustapa, jossa useat prosessilaitteet ovat riippuvaisia toisensa toiminnasta

Rejekti = lajittelussa laitteen hylkäämä jae

Rejektointi = tapahtuma, jossa rejekti poistetaan laitteistosta

Sekvenssi = tietyssä ohjelmallisesti määrätyssä järjestyksessä tapahtuvat ohjelman vaiheet

Vortex finder = syöttöpään keskellä oleva putki, jonne ilmasydämeen päätyvä aksepti kulkeutuu

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä käsitellään UPM Kaukaan havukuitulinjan hiekanerotusta. Tässä opinnäytetyössä tarkemmassa tarkastelussa on erikseen hiekanerotteluun tarkoitettu laitteisto. Hiekanerotuslaitteistolla on tarkoitus poistaa hakeen mukana prosessiin päätynyt hiekka ja muut ominaispainoltaan kuituja painavammat partikkelit. Hiekka on kuluttava komponentti, joka voi myös pilata lopputuotteen päästessään siihen asti. Hiekanerottimet on sijoitettu oksankäsittelyyn ja lajittelulaittoistoon niin, ettei hiekka jää kiertämään prosessiin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on parantaa hiekanerottelua ja ehkäistä prosessilaitteiden turhaa kulumista. Hiekanerottimien vikaantuminen on kuitulinjoilla yleinen ongelma, joka aiheuttaa turhia laiterikkoja ja katkoksia tuotannossa. Opinnäytetyössä pyritään löytämään laitteistolle optimaaliset säätöarvot laitteiston komponenttien elinkaaren pidentämiseksi ja erottelukyvyn tehostamiseksi. Tulosten perusteella on tarkoitus myös säätää koivukuitulinjan hiekanerottimet niiltä osin kuin laitteisto ja säätöarvot ovat yhtenevät.

Nykyiset säätöarvot ja laitteiston kulumisenkesto eivät ole halutulla tasolla. Prosessissa kiertoon jäävä hiekka kuluttaa prosessilaitteita ja hiekanerottimien komponenttien kulumisen on nopeaa. Ongelmana ovat laitteistoon tehdyt muutokset ja optimointiin soveltumattomat rikkoontuneet mittalaitteet. Laitteistoon on olemassa konekirja, jonka perusteella käyttötarkoitukseen soveltuvia säätöarvoja etsitään.

2 Yritysesittely

2.1 UPM-Kymmene Oyj

UPM-Kymmene Oyj on vuonna 1995 perustettu yhtiö, jonka Kymmene Oyj, Repola Oy ja Repolan tytäryhtiö Yhtyneet paperitehtaat muodostivat fuusiossa. UPM toimii kansainvälisesti kahdessatoista maassa yhteensä 54 tuotantolaitoksen voimin. Yli 60 % liikevaihdosta tulee Euroopasta, viidesosa Aasiasta ja 13 % Pohjois-Amerikasta. UPM työllistää 19 000 työntekijää 46 eri maassa ja sillä on asiakkaita 12 000 yhteensä 120 maassa. UPM toimii kestävä metsätalouden

periaatteiden mukaan ja istuttaa 50 miljoonaa puuta vuosittain. (UPM Intranet 2019.)

2.2 UPM:n liiketoiminnot

UPM:n painopistealueet voidaan jakaa seuraaviin: erikoispakkausmateriaalit, korkean arvon kuitutuotteet ja molekulaariset biotuotteet. Ensin mainittuihin kuuluvat graafiset paperit, korkean arvon kuitutuotteisiin vanerit ja viimeiseen ryhmään biopolttoaineet ja -kemikaalit. UPM:n eri liiketoiminta-alueiden sovelluksilla voidaan valmistaa tarramateriaaleja elintarvikepakkauksien ja juomapullojen etiketteihin sekä muita erikoispapereita elintarvikepakkauksiin, sanoma- ja aikakauslehtipapereita sekä toimistopapereita. UPM valmistaa myös puumateriaaleja rakentamiseen, huonekaluihin ja asumiseen, biopolttoaine- ja sellupohjaisia pakkaus-, varastointi- ja kuljetusmateriaaleja sekä materiaaleja hygieniatuotteisiin, ja sähköä lämmitykseen ja valaisuun. (UPM Intranet 2019.)

UPM:n liiketoiminnot koostuvat yhdeksästä eri osa-alueesta. UPM Biorefiningiin kuuluvat sellun valmistus, puuviljelmät, biopolttoaineet, sahat, puunhankinta ja metsätalous. UPM Energyyn kuuluvat sähköntuotanto ja kauppa, osuudet vesi-, ydin- ja lauhdevoimaa tuottavista energiayhtiöistä, sekä optimointipalvelut. UPM Raflatac valmistaa tarramateriaaleja tuote- ja informaatioetiketöintiin. UPM Specialty Papers tuottaa erikoispapereita Aasian markkinoille, tarramateriaaleja maailmanmarkkinoille ja pakkauspapereita pääasiassa Eurooppaan. UPM Communication Papersin liiketoiminta tuottaa erilaisia graafisia papereita niin mainoskuin julkaisukäyttöön sekä koteihin että toimistoihin. UPM Plywood puolestaan valmistaa WISA®-vaneri- ja viilutuotteita sekä UPM Grada®-puumateriaalia. UPM Biocomposites valmistaa erilaisia komposiitteja, UPM Biochemicals puupohjaisia kemikaaleja teollisuuden eri tarpeisiin ja UPM Biomedicals Growdex®-nanoselluloosageeliä. (UPM Intranet 2020.)

2.3 UPM Kaukas

UPM Kaukaan tehtaat on suuri metsäteollisuuden integraatti, jossa sijaitsee useita eri yksiköitä (Kuva 1). Alueella on Kaukaan Voiman biovoimalaitos, sellu- ja paperitehdas, biojalostamo, saha sekä UPM:n suurin tutkimus- ja kehityskes-

kus. Tehtaat työllistävät liki tuhat henkilöä, 180 kesätyöntekijää ja päivittäin keskimäärin yli 550 urakoitsijan työntekijää. Kaukas synnyttää kulutusvaikutusta (eli omien ja välillisten työntekijöiden nettotulojen kautta syntyvää yksityistä kulutusta hyödykkeisiin) paikallisesti noin 49 miljoonaa euroa. (UPM Intranet 2020.)

Kaukaalla on valmistettu sellua jo vuodesta 1892. Tehtaalla valmistetaan kemiallisesti valkaistua havu- ja koivusellua. Nykyään tehtaan kapasiteetti yltää tuottamaan koivu- ja havusellua vuosittain jopa 770 000 tonnia. Yhteensä integraatissa jalostetaan noin 5 miljoonaa kuutiota puuta vuodessa. Työntekijöitä sellutehtaalla on 260 ja siellä sijaitsevat koivukuitulinja, havukuitulinja, soodakattilalaitos sekä kuivauskone 1 ja 4.

UPM Kaukaan sellutehtaalla valmistetaan UPM Betulaa eli koivusellua sekä UPM Coniferia. Koivusellua käytetään muun muassa tarrojen ja hienopapereiden valmistukseen ja havusellua kartonkeihin ja pehmo- ja aikakauslehtipapereihin. UPM Coniferista on myös olemassa pitkäkuituinen versio Conifer Reinforcement, jota käytetään armeerausmassana lujitteena paperin valmistuksessa. Tuotannosta syntyvät sivutuotteet hyödynnetään energiantuotannossa ja biokemikaalien ja -polttoaineiden valmistuksessa. (UPM Intranet 2020.)

UPM Kaukaan tehtaiden vuotuinen puunkulutus tarkoittaa puuhuollossa useita satoja rekkakuormia päivässä. Puolet tehtaiden käyttämästä puusta tulee autoilla, loput tuodaan junilla, aluksilla sekä uittamalla. Puuraaka-aine sekä bioenergiaksi tarkoitettu turve saapuvat tehtaalle alle 200 km:n säteeltä. Tehtaat ostavat pääosan puusta PEFC™- tai FSC®-sertifioiduista suomalaisista yksityisomisteista metsistä. (UPM Intranet 2019.)



Kuva 1. UPM Kaukas integraatti (UPM Intranet 2019)

3 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on parantaa havukuitulinjan hiekanerotusta sekä parantaa laitteiston käyttövarmuutta. Hiekanerottimien komponenttien nopea kuluminen, sekä hiekanerottelukyky ja säädettävyys eivät ole olleet halutulla tasolla. Hiekanerottimen komponenttien nopea kuluminen johtaa hiekanerottimien enenaikaiseen laiterikkoon. Tällöin hiekanerotin joudutaan ohittamaan prosessista, mikä aiheuttaa ylimääräistä tuotannonmenetystä. Osa tuotteesta päätyy häiriötilanteen ajan tyhjennettäväksi suoraan jätevedenkäsittelyyn. Ylimääräinen kiinteä aine ja mustalipeä kuormittavat jätevedenkäsittelyä tarpeettomasti. Prosessiin päätyvä hiekka ja muut raskaat partikkelit aiheuttavat putkistojen ja prosessilaitteiden kulumista. Hiekanerotus on siis tärkeä osa prosessia pidentäen putkistojen ja laitteiden ikää sekä parantaen lopputuotteen puhtautta.

4 Sellunvalmistuksen teoria

4.1 Puunkäsittely

Kuitupuu tuodaan tehtaalles pääasiallisesti autoilla, junilla tai vesiteitse. Puun suuren kulutuksen ja jaksottaisen toimituksen takia sitä joudutaan varastoimaan va-

rastokentille. Näin ollen hetkelliset toimitusviiveet eivät pääse vaarantamaan yhtäjaksoista hakkeen tuotantoa. Puun säilyvyyttä parannetaan pitkienkin läpimeinoaikojen takia etenkin kesäisin kastelemalla sitä. Tavoitteena on kuitenkin käyttää tuoretta puuta ja pitää varastointiajat lyhyinä puun kuivumisen ja lahoamisen ehkäisemiseksi.

Ennen puun hakettamista, se täytyy kuoria, sillä kuoren päätyminen massaan laskee sen vaaleutta. Kuori ei valkaisuprosesista huolimatta täysin vaalene vaan jää ruskeaksi ja se voi näkyä etenkin lopputuotteessa tummina pisteinä. Massan puhtaus ja vaaleus ovat lopputuotteen kannalta kriittisessä asemassa. Talvisaikaan puu joudutaan sulattamaan puun kuorinnan onnistumiseksi. Suomessa tähän käytetään pääsääntöisesti lämmintä vettä. Kuorinnan jälkeen puut pestään ja niistä pyritään erottelemaan hiekka ja kiviaines.

Puun kuorinnan ja pesun jälkeen se haketetaan mahdollisimman tarkasti homogeeniseksi hakkeeksi laatuvaihteluiden välttämiseksi. Hakettamiseen käytetään hakkua. Hakettamisen jälkeen hake täytyy seuloa ylisuurten ja liian pienten hakepalojen erottelemiseksi. Pienet hakepalat ja syntynyt pieni jauhe on mahdollista hyödyntää esimerkiksi polttamalla hakkeen kanssa tai keittämällä purukeittimissä. Purukeitosta tullut massa voidaan käyttää sellun valmistuksessa. Tämän jälkeen hake varastoidaan hakevarastoihin katkottoman tuotannon turvaamiseksi. (Knowpulp 2020a.)

4.2 Keitto

Keittämisen tehtävänä on erilaisten kemikaalien ja lämmön avulla saada puun ligniini irtoamaan niin, että hake kuituuntuu. Keittämisen apuna käytettävillä kemikaaleilla pyritään liuottamaan mahdollisimman paljon ligniiniä kuitenkin liuottamatta selluloosaa. Keittokemikaaleina käytetään valkolipeää, joka koostuu natriumhydroksidista ja natriumsulfidista. Ligniini on puukuituja kasassa pitävä siidosaine, joka värjää massan ruskeaksi. Keittokemikaalit ovat huomattavasti edullisempia kuin valkaisuun käytettävät kemikaalit. Tämän takia mahdollisimman paljon ligniiniä pyritään poistamaan jo keittämisen aikana. Kuitenkin niin että saanto pysyy hyvänä.

Koko keittoprosessi aina massan purkamiseen asti pyritään pitämään hellävaraisena, jotta kuidut pysyvät pitkinä ja vahvoina parantaen lopputuotteen laatua. Nykyisin sulfaattikeitto on yleisin käytössä oleva keittomenetelmä. Sulfaattikeitosta on käytössä kaksi eri muunnelmaa, eräkeitto ja jatkuva keitto. Eräkeiton hyvinä puolina pidetään sen tarkkaa säädeltävyyttä hyvän keittotuloksen saavuttamiseksi. Jatkuva keitto eli vuokeitto on kuitenkin nykypäivänä kehittynyttä ja pääsee samoihin tuloksiin kuin eräkeitto. (Knowpulp 2020a.)

4.3 Pesu

Massan pesemisellä tarkoitetaan prosessin vaihetta, jossa massasta erotetaan keittämisessä syntynyt mustalipeä. Mustalipeän seassa on niin liuennutta puuainesta kuin puun sidosainetta ligniiniä. UPM Kaukaan sellutehtaalla ruskean massan pesuun käytetään Ahlströmin (nykyinen Andritz) valmistamia DD-pesureita eli paineellisia rumpusuotimia (Kuva 2).

Massan pesu tapahtuu yleensä heti keittämisen jälkeen. Massaa pestään myös valkaisuvaiheiden välissä. Pesemisen tuloksena massasta eroteltu neste sisältää paljon uudelleenkäytettäviä kemikaaleja ja esimerkiksi poltettavaksi kelpaavaa puuainesta. Hyvä pesutulos edesauttaa seuraavissa prosessin vaiheissa valkaisu. Mitä parempi pesutulos on, sitä vähemmän kalliita valkaisukemikaaleja täytyy käyttää. Massassa oleva mustalipeä myös kuormittaa jätevedenkäsittelyä päästessään prosessissa eteenpäin. (Knowpulp 2020a.) Pesu yritetään tehdä mahdollisimman pienillä vesimäärillä ja vastavirtaan, jolloin puhtaimman vaiheen suodoksia käytetään likaisemman vaiheen pesussa. Tällöin kokonaisvedenkäyttöä voidaan pienentää. (Nevalainen 2020.)



Kuva 2. DD-pesuri

4.4 Lajittelu

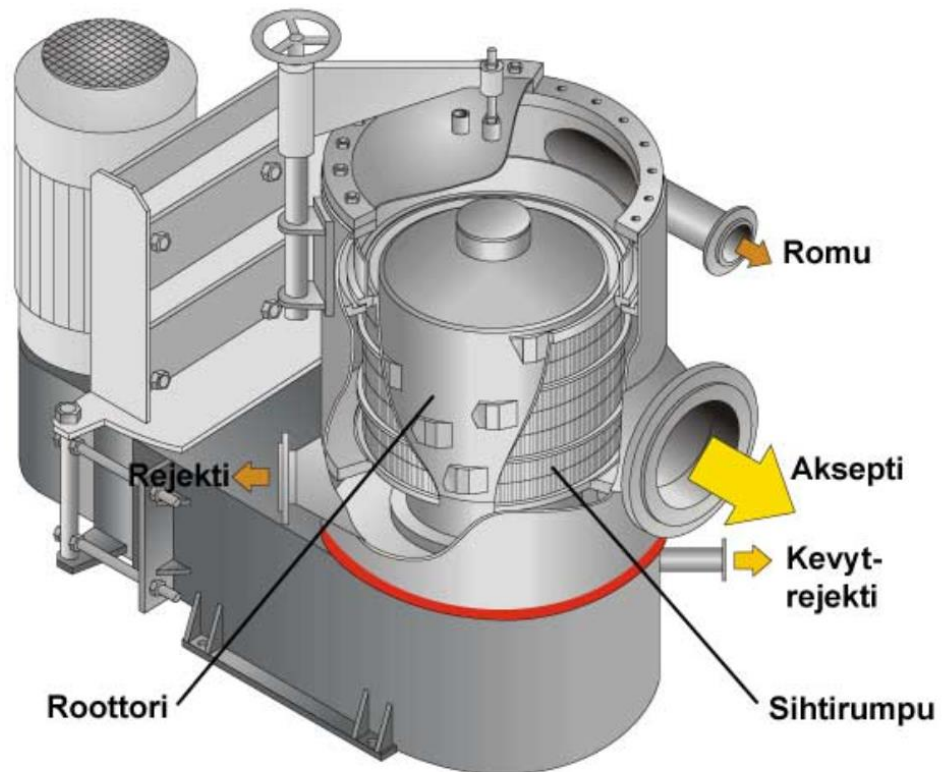
Hakkeen mukana keittoon pääsee aina hieman epäpuhtauksia, kuten hiekkaa, kiviä, kuorta, lasia ja metallia. Lajittelun tarkoituksena on poistaa edellä mainittuja epäpuhtauksia kuitenkin pitäen kuituhäviön pienenä. Lajittelu tapahtuu pääasiassa kahdella eri keinolla, joko partikkelin kokoon tai painoon perustuvaan eroteluun. Partikkelin koon mukaan tehtävä erottelu tehdään erilaisten sihtilevyjen avulla, joiden rakokoot vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan.

Ensimmäisenä lajittelulaitteena havukuitulinjalla on oksanerotin. Oksanerotuksessa käytetään ison rakokoon omaavaa sihtilevyä, jonka tehtävänä on erotella

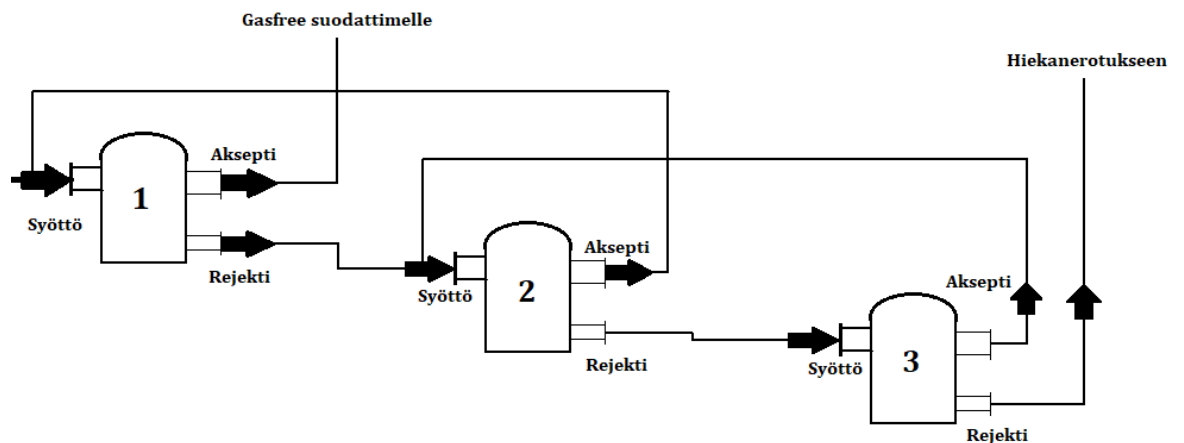
keittymättömät jakeet, kuten oksat ja muut vierasesineet pois massasta. Oksanerotin lajittelee isokokoiset jakeet eli rejektin oksapesurille ja sihtilevyn läpäisevä aksepti siirtyy massan pesuun. Oksapesurin tehtävänä on pestä oksamassasta käyttökelpoinen kuituaines. Oksapesurilta lähtevä massa, josta on eroteltu suurimmat oksat, siirtyy hiekanerotukseen. Hiekanerottimissa massasta erotellaan hiekka ja muut raskaat partikkelit, jotka ovat läpäisseet oksapesurin. Hiekanerottimien aksepti siirtyy kuidunerotukseen, joka erottelee kuidun ja nesteen toisistaan. Kuidut siirtyvät takaisin tasaussäiliöön, josta ne syötetään uudelleen oksanerottimelle.

Pesun jälkeen massa siirtyy happivalikaisuun, jossa siitä erotellaan jäännöslignini. Tämän jälkeen massa siirtyy hienolajitteluun, jossa lajitteluun käytetään painelajittimia (Kuva 3). Havukuitulinjalla hienolajittelu tapahtuu kolmessa portaassa (Kuva 4). Lajittelulaitteiston on toimittanut Ahlström. 1-portaan lajittimena toimii Moduscreen F6, 2-portaassa Moduscreen F4 ja 3-portaassa Moduscreen F2. 1-portaan lajittimen aksepti ohjataan GasFree-suotimen kautta valikaisuun. 1-portaan rejekti ohjataan 2-portaan syöttöön ja 2-portaan rejekti ohjataan 3 portaan syöttöön. 3-portaasta rejekti pumpataan hienolajittelun hiekanerottimelle. 2- ja 3-portaan lajittimien aksepti ohjataan takaisin 1-portaan syöttöön.

Painelajittimen rakenne



Kuva 3. Painelajitin (Knowpulp 2020a)



Kuva 4. Painelajittimien kytkentä

4.5 Valkaisu

Valkaisussa tavoitteena on massan vaaleuden ja puhtauden parantaminen. Massaan jäänyt ligniini pyritään poistamaan happivalkaisussa eli happidelignifioinnin aikana. Happidelignifioinnin aikana massasta poistetaan hapen ja alkalisten olosuhteiden avulla jäännösligniiniä. Ligniini on sellua kellertävä ainesosa, joka tehokkaasti poistettuna edesauttaa massan pysymistä vaaleana.

Valkaisussa käytetään pääasiassa kolmeen eri ryhmään kuuluvia valkaisukemikaaleja. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat kloori, otsoni ja peroksihapot. Nämä kemikaalit reagoivat aromaattisten ligniiniyksiköiden kanssa. Klooria ei kuitenkaan nykyään enää juuri käytetä ympäristösyistä. Toiseen ryhmään kuuluvat klooridioksidi ja happi. Niiden tarkoitus on reagoida ligniinirakenteiden kanssa, joissa on vapaita fenolisia hydroksyyli ryhmiä. Kolmanteen ryhmään kuuluvat hypokloriitti ja vetyperoksidi. Valkaistu massa pumpataan välitorniin odottamaan kuivatusta. (Knowpulp 2020a.)

4.6 Kuivatus

Ennen massan kuivatusta massalle suoritetaan vielä jälkilajittelu. Jälkilajitteluun käytetään pyörrepuhdistimia, painelajittelua tai näiden erilaisia yhdistelmiä. UPM Kaukaan sellutehtaan kuivauskone 1:llä käytössä on pyörrepuhdistinlaitteisto. Kuivauskone 4:llä käytössä on näiden yhdistelmä, jossa lajittelu suoritetaan ensin kolmessa portaassa painelajittimilla. Painelajittelun jälkeen viimeisen portaan rejekti ohjataan pyörrepuhdistinlaitteistolle, jonka tarkoitus on erotella roskia, kuten hiekkaa, kuorta ja muovia. Jälkilajittelu on tärkeä osa ennen massan kuivatusta, jossa taataan lopputuotteen puhtaus. Lajittelun jälkeen massan sakeus säädetään oikeaksi ja se syötetään perälaatikolle (Kuva 5).



Kuva 5. Viiraosa ja perälaatikko

Perälaatikon tehtävä on levittää massa viiralle tasaisena rintamana. Syöttövirtaus on riippuvainen perälaatikon paineesta. Perälaatikko myös ehkäisee paineenvaihteluista luoden stabiilit olosuhteet tasaisen massarainan luomiseksi. Koska massaa syötetään alhaisella sakeudella, yleensä noin 1-2% sakeudella, siitä on poistettava huomattava määrä vettä. Kuivauskoneen viiraosalla massa huopautuu ja siitä poistuu paljon nestettä. Viiraosan alkupäässä vesi poistuu painovoimaisesti. Loppupäässä vettä poistetaan tasoimulaatikoiden ja yläviirayksikön avulla käyttäen alipainetta. Alipaine muodostetaan useilla tyhjöpumpuilla. Viiraosan jälkeen vedenpoistoa jatketaan edelleen puristimien avulla. Puristimissa

massaraina puristetaan kahden telan väliin. Telojen aiheuttama paine puristaa teloilla kiertäviin huopiiin vettä. Näistä huovista vesi poistetaan alipaineen avulla ja huopia kunnostetaan korkeapaineisilla pesusuihkuilla tukkeutumisen ehkäisemiseksi (Kuva 6).



Kuva 6. Yläviira ja puristinosa

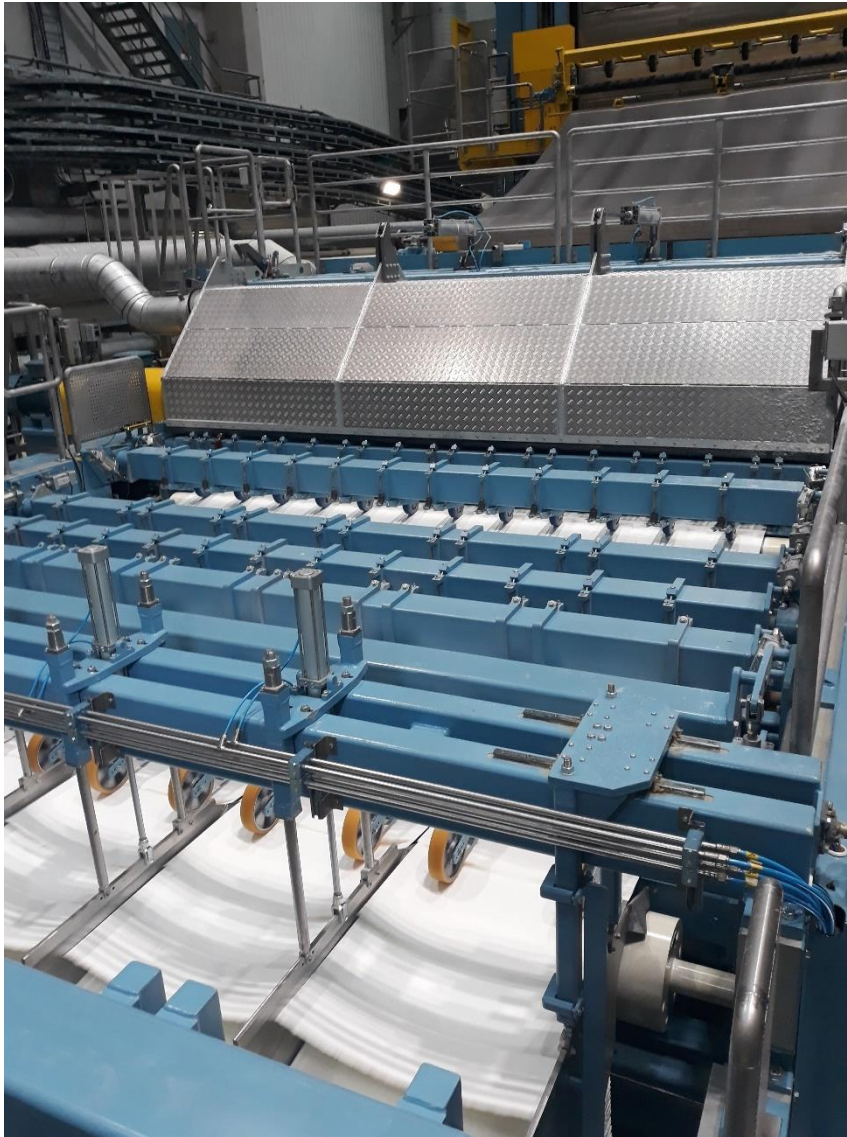
Puristinosan jälkeen massaraina johdetaan kuivatusosalle. UPM Kaukaan sellutehtaalla kuivauskone 1:llä on käytössä sylinterikuivatin ja pieni puhallinkuivatin. Sylinterikuivattimessa massarata johdetaan pyörivien höyr sylinterien ympärille, joiden kuuma pinta aiheuttaa veden haihtumisen pois massaradasta. Kuivauskone 4:llä on käytössä puhallinkuivatin (Kuva 7), jossa radan kuivattamiseen käytetään lämmitettyä puhallusilmaa. Puhallusilma aikaansaa massan leijumisen puhallinkuivaimen sisällä, mikä tehostaa massaradan kuivatusta. Kuivauskaapin päädyissä olevilla kääntöteloilla rata saadaan käännettyä ja johdettua edestakaisin siirtyen aina kerrosta alemmas. Kuivauskaapin alaosassa on jäähdytysosa,

jolla rata jäähdytetään ennen leikkausta. Rata pyritään jäähdyttämään leikkurin kanssa samaan lämpötilaan.



Kuva 7. Puhallinkuivatin

Rata tuodaan arkkileikkurille kuivattimen vetotelaparin avulla. Ennen radan poikkileikkausta rata leikataan pituussuunnassa pituusleikkuuterillä. Rata syötetään kaksiteräiselle poikkileikkuutukille. Terät on sijoitettu rummussa vastakkaisille puolille, joten jokaisella poikkileikkurin pyörähdyksellä syntyy kaksi selluarkkia. Leikatut arkit johdetaan arkipöydän avulla jakolaitteelle, jossa ne jaetaan sellupaaleiksi (Kuva 8).



Kuva 8. Arkkileikkuri

Tämän jälkeen sellupaalit puristetaan paalipuristimilla pienempään kokoon, mikä tekee niistä vahvempia ja pienikokoisempia. Sellupaalit pinotaan ja yksiköidään vientikohteesta riippuen joko käärittyinä tai kääreettöminä. Sellupaalit varastoidaan selluvarastoon odottamaan toimitusta tai lastataan suoraan autoihin tai junaunuihin kuljetusta varten.

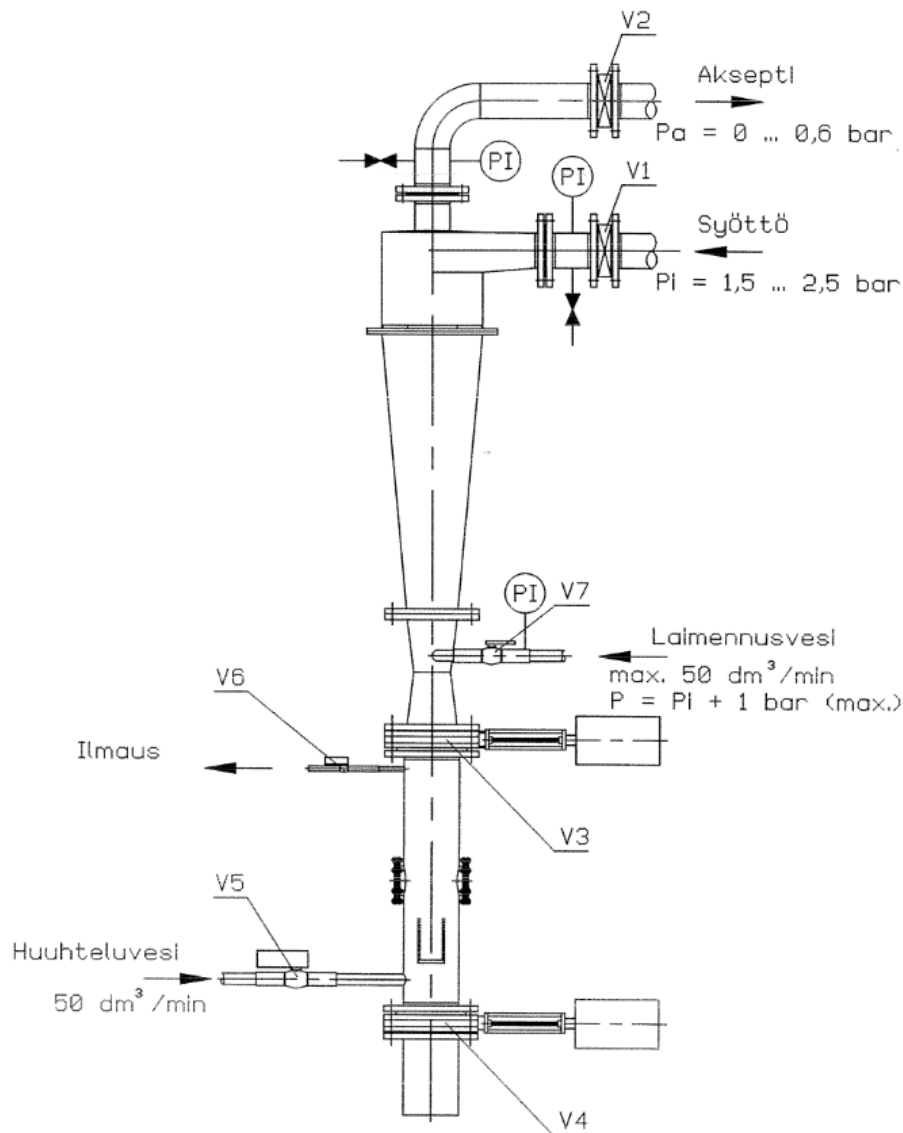
5 Hiekanerotuksen teoria

Hiekanerotuksella tarkoitetaan kuitulinjoilla prosessin vaihetta, jossa massasta poistetaan hiekkaa. UPM Kaukaan sellutehtaalla hiekanerotukseen molemmilla kuitulinjoilla käytetään Ahlström Ahlcleaner RB 300HD pyörrepuhdistuslaitteistoa. Kyseinen laitteisto on erityisesti tarkoitettu hiekan erotukseen massan lajittelussa (Kuva 9).



Kuva 9. Hiekanerotuslaitteisto

Hiekan poisto tapahtuu tämäntyyppisessä laitteessa jaksoittaisesti, eli rejekti päästetään ulos laitteesta tietyin väliajoin. Pyörrepuhdistin ei kuitenkaan pelkästään erottele hiekkaa vaan poistaa myös muita ominaispainoltaan vettä ja kuituja raskaampia kappaleita, kuten metallia ja lasia. Hiekanerotus on tärkeä osa massan lajittelua, sillä lopputuotteeseen pääsevä hiekka voi pilata kokonaisia tuotantoeriä. Hiekka myös kuluttaa putkistoja ja prosessilaitteita aiheuttaen häiriöitä prosessiin ja kasvattaen kunnossapitokustannuksia. Hiekkaa poistuu muissakin massan käsittelyn vaiheissa, kuten oksapesurilla, rejektipesurilla, painelajittimissa ja kuivauskoneiden lajittelussa ennen massan kuivausta. Laitteisto käsittelee parhaiten massaa, jonka sakeus on 2,5% tai sen alle (Kuva 10).

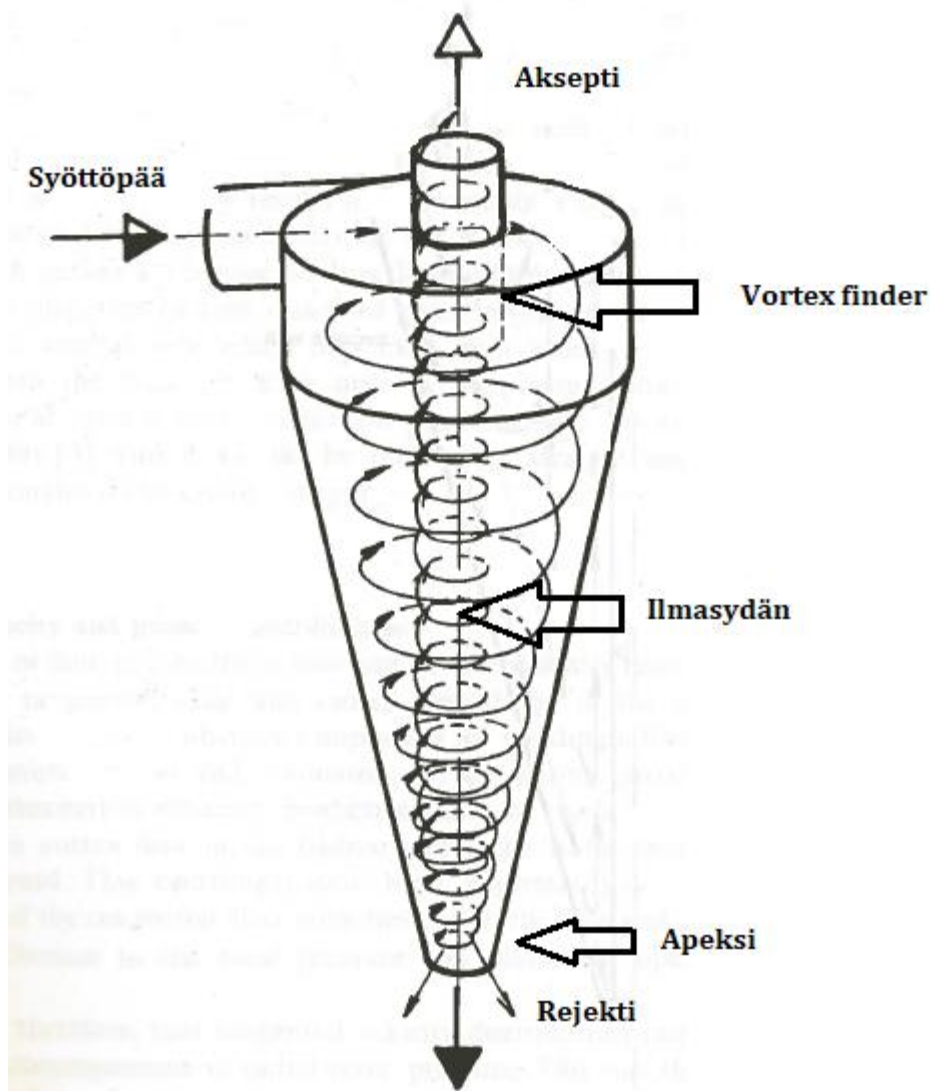


Kuva 10. Hiekanerotin, yleiskuva (SAP)

Laitteiston toiminnan periaatteet

Pyörrepuhdistimen eli hydro syklonin ylä laidasta massa syötetään syöttöpäähän. Massan tangentiaalisesta syötöstä johtuen massa ja mukana olevat raskaammat jakeet hakeutuvat keskipakovoiman ansiosta ulkokehälle ja kevyemmät jakeet, tässä tapauksessa massa ja neste, keskelle syntyvään ilmasydämeen. Pyörrepuhdistin erottaa parhaiten raskaita jakeita, sillä ne saavat suhteessa suuremman liikemäärän kuin kevyemmät jakeet. Raskaat jakeet täten hakeutuvat pyörrepuhdistimen kartion ulkoreunalle ja vajoavat alas kohti apeksia. Raskaita jakeita, jotka tippuvat apeksista alas, kutsutaan rejektiksi ja kevyitä haluttuja puhdaita jakeita, jotka kulkeutuvat ilmasydäntä pitkin ylös, kutsutaan akseptiksi (Kuva 11).

Erottelutehokkuutta voidaan nostaa käyttämällä halkaisijaltaan pienempiä kartioita (Svarovsky 1984, 109), tai käyttämällä suurempaa paine-energiaa. Keskipakovoimaa mitataan paine-erona syötön ja akseptin välillä (Knowpulp 2020b). Mitä suurempi paine-ero saavutetaan, sitä pienempiä partikkeleita voidaan erottaa (Knowpulp 2020b). Partikkelien erottamistehokkuuteen voidaan vaikuttaa syklonin halkaisijalla, syöttöpään halkaisijalla, ulostulohalkaisijalla, kartion kullalla, kartion pituudella, vortex finderin pituudella ja sisääntulonopeudella (Svarovsky 1984, 109).



Kuva 11. Hydroosykloni (Svarovsky 1984, 31)

Kartio-osan alareunaan apeksiin syötetään laimennusvettä, joka vähentää kuituhäviötä laimentamalla apeksiin päätyvää rejektinsekaista massaa (Kuva 10). Venttiileiden V3 ja V4 välissä oleva tilaa kutsutaan rejektisäiliöksi, johon tippunut rejekti kertyy ja se säilötään sinne ajastettua rejektin tyhjennystä varten. Normaalissa ajotilanteessa venttiili V3 on auki, mikä mahdollistaa rejektin putoamisen säiliöön. Rejektionnin alkaessa venttiili V3 sulkeutuu ja V4 valmistautuu avautumaan. Kun V3 on saavuttanut kiinniasennon, V4 alkaa aukeamaan venttiilin V5 kanssa. Venttiili V5 on huuhteluvedelle, jonka tehtävänä on laimentaa ja pestä kaikki rejekti pois rejektisäiliöstä rejektionnin aikana. Rejektionnin loputtua ja säi-

liön tyhjennettyä, sulkeutuu venttiili V4 ja venttiili V6 aukeee. Venttiiliin V6 tehtävänä on päästää säiliöstä ilma pois, jolloin säiliö pystyy täyttymään laimennusvedellä. Venttiili V7 on laimennusvedelle, jolla säädellään rejektisäiliöön tippuvan rejektin laatua. Koska rejekti tippuu tilaan, joka ei ole paineistettu, on laitteistolle edullista, että säiliö on kokonaan täynnä nestettä turhien paineiskujen välttämiseksi. Säiliön täytyttyä nesteellä venttiili V6 sulkeutuu ja V3 aukeaa uudestaan. Sekvenssi päättyy ja laite jatkaa toimintaansa.

6 Optimointi

Optimoinnin onnistumista oli tarkoitusta päästä analysoimaan laboratorionäytteillä, joissa tarkasteltaisiin hiekan määrää hiekanerotimen akseptista ja syöstä. Näytteenotto aloitettiin ottamalla näytteitä oksanerotuksen akseptista. Näytteenottotavat pyrittiin pitämään yhteneväisinä näytteenottojen välillä. Näytteiden tuloksista ei kuitenkaan pystytty luotettavasti määrittämään hiekan määrää puuttuvien näytteenottimien johdosta. Näytteet jouduttiin ottamaan putkistojen tyhjennyslinjoista, joita ei ole suunniteltu näytteenottoon. Putkistokoot näissä tyhjennyksissä ovat isoja, sillä niiden tarkoitus on vain tyhjentää linja sinne jääneestä nesteestä, esimerkiksi huollon ajaksi. Venttiilejä ei voinut putkiston paineen takia avata kokonaan vaan venttiilien avauskulma täytyi pitää pienenä, jotta näytteenotto ei olisi vaarallista. Pienestä venttiilikulmasta johtuen massan virratessa venttiilille tapahtuu suotautumista. Suotautumisella tarkoitetaan sitä, että pienestä venttiilin avautumasta pääsee näytteeseen purkautumaan helpommin pelkkää nestettä kuin kokonaisvaltainen kuitupitoinen näyte. Näin ollen näyte ei edusta luotettavasti koko putkistossa virtaavan kuitususpension koostumusta, ja näytteet eivät olleet luotettavia. Näytteenottoa yritettiin myös hienolajittelun puolella epävarmoin tuloksin. Hienolajitteluun tullaan lisäämään näytteenottimet, jotta tulevaisuudessa näytteidenotto olisi mahdollista.

6.1 Ajoparametrit

Hiekanerotin on mitoitettu kuvassa 12 näkyville virtausmäärille, paine-eroille ja sakeuksille. Laitteiston valmistajan suosittelema maksimiarvo syöttöön on 2,5 bar:n paine ja akseptiin 0,6 bar:n paine. Kuvaajasta nähdään, että käsittelykyky

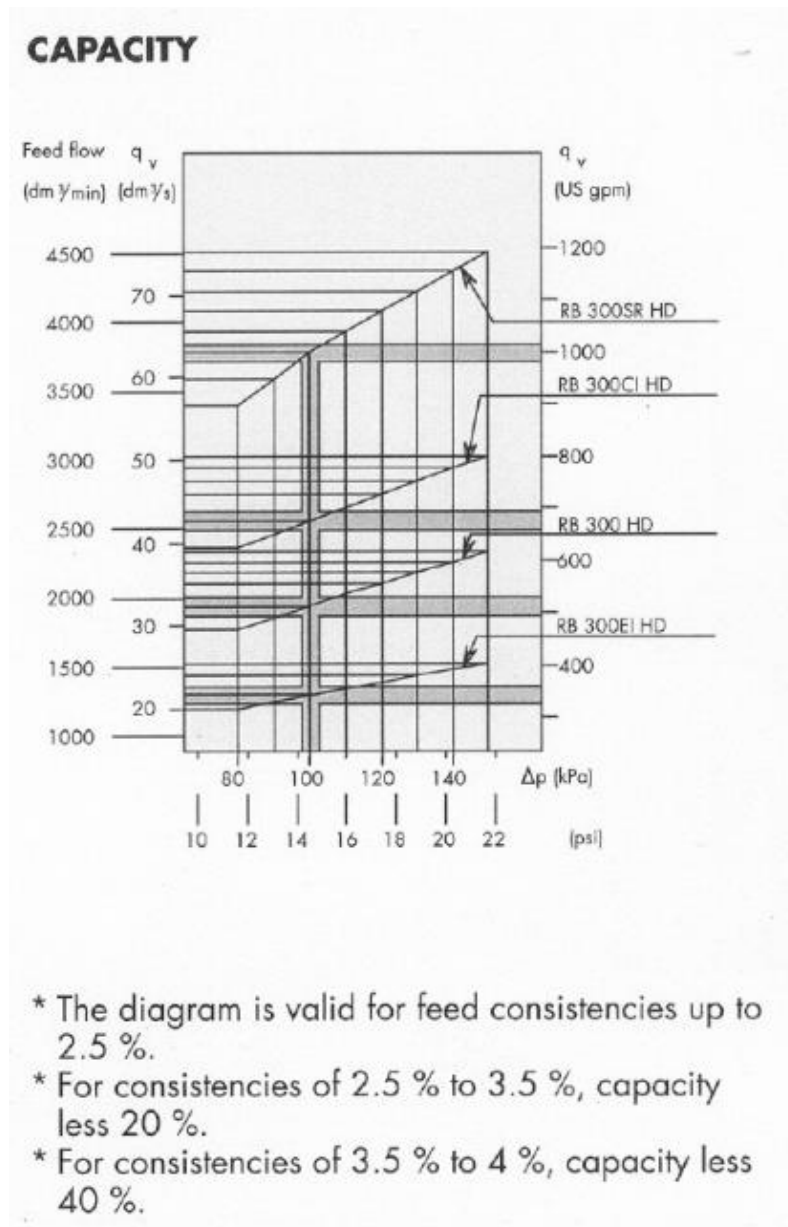
on noin 1,5 bar:n paine-erolla 21,7 l/s yhtä syklonia kohden. Paine-eron nous-
tessa 2 bar:iin käsittelykyky kasvaa 25 litraan sekunnissa. Koska oksanerotuk-
sessa on käytössä yhteensä viisi syklonia, kasvaa laitteen käsittelykyky 125 l/s.
Hienolajittelussa on käytössä vain yksi hiekanerotin. Hiekanerotin optimaali-
nen toimintasakeus on 2,5 %:n alapuolella (Kuva 12). Hiekanerotin syöttö-
paine tulisi pitää aina yli 0,98 bar:n yläpuolella, koska tämä aikaansaa ilmasydä-
melle vakaat olosuhteet (Luo & Xu 1992, 52).

Testaushetkellä laitteiston toimintasakeus oli noin 1 %:n tasolla (liite 1). Lähtöti-
lanteessa laitteistolle syötettiin massaa yli 3 bar:n paineella. Näin suuri paine voi
vaurioittaa laitetta ja kiihdyttää kulumista. Apeksiin syötettävän laimennusveden
määrää oli mahdotonta järkevästi tarkkailla näkölasien puuttumisen johdosta.
Laimennusvesilinjat myös tukkeutuivat helposti liian suuren hiekanerotin
syöttöpaineen johdosta, koska laimennusveden paine oli miltei sama kuin hieka-
nerotin syöttöpaine. Se mahdollisti kuitujen pääsemisen laimennusvesilinjaan
aiheuttaen linjan tukkeutumisen.

Rejektin ja rejektisäiliöön tippuvan kuidun määrää voidaan säätää laimennusve-
den virtausmäärää muuttamalla. Laimennusveden virtausmäärää kasvattamalla
niin sanotusti häiritään pyörrepuhdistimen toimintaa ja syötetään nestettä karti-
oon, joka palauttaa alas tippuvaa rejektiä ylös. Jos laimennusveden määrä on
liian suuri, se palauttaa myös partikkeleita, joiden pitäisi rejektoitua, ja ne pääty-
vät joko akseptiin tai pyörimään uudelleen kartioon. Vastaveden määrää taas lii-
kaa pienentämällä, rejektisäiliöön tippuu myös kuitua, jonka olisi tarkoitus päätyä
akseptiin.

Laitteiston hienosäätöön käytetään rejektisäiliön kyljessä olevaa näkölasia, josta
voidaan tarkkailla rejektisäiliöön tippuvan rejektin ja kuidun määrää. Laimennus-
vesi pitäisi pyrkiä säätämään sellaiselle tasolle, että hiekkaa erottuu mahdollisim-
man paljon, kuitenkin niin, ettei kuitua pääse rejektin sekaan. Laitteistoista oli kui-
tenkin poistettu näkölasit niiden joskus rikkoonnuttua, eivätkä laimennusvesilin-
jojen virtausmittaukset olleet toimintakunnossa. Laimennusvetenä käytetään ok-
sapuolen hiekanerotuksessa mustalipeää. Mustalipeän käyttöön on päädytty, jot-
tei prosessiin tuotaisi ylimääräistä vettä, joka täytyy haihduttaa mustalipeästä

pois haihduttamalla. Tämä valinta on kuitenkin osoittautunut epäedulliseksi hiekanerottimien säädön kannalta. Mustalipeä tulisi valmistajan ohjeiden mukaan muuttaa puhtaaksi vedeksi tai 0-vedeksi. Hiekanerottimen säätäminen oikealle määrälle laimennusvettä ei ole mahdollista syötettävän mustalipeän värjätessä rejektisäiliön vesi täysin mustaksi. (SAP, Sellutehdas (Uusi), Ruskean massan käsittely havulinja, Oksankäsittelylaitteisto, Hiekanerottimet.)



Kuva 12. Kapasiteettikäyrä (CanAm Machinery Inc. 2002)

6.1.1 Ympäröivä prosessi oksanerotuksessa

Hiekanerotin ei suoranaisesti ole kaskadiohjattu, mutta ympäröivän prosessin aiheuttamat muuttujat voivat luoda joko suotuisia tai epäedullisia ajotilanteita. Ennen erotinta olevat laitteet määrittävät suuren osan hiekanerotukseen tulevan massan määrästä ja sakeudesta. Parhaaseen ajotilanteeseen päästään, kun kuitulinjalla on tasainen tuotanto, eikä ylimääräisiä muuttujia ole. Paineenvaihtelut ja sakeudenmuutokset vaativat operaattoreilta manuaalisia säätötoimenpiteitä niin valvomosta kuin itse laitteesta.

Isoimmissa rooleissa ympäröivistä laitteista ovat oksanerotin ennen hiekanerotusta ja sen jälkeen kuidunerottaja, joka erottelee kuidun nesteestä. Oksanerotin annostelee ajonopeuden perusteella tietyn määrän vettä oksanerottimen rejektin laimennukseen. Oksanerottimen rejektin virtaus syöttää suurimman osan nesteestä, joka pumpataan oksapesurille ja sen kautta hiekanerottimille. Osa nesteestä tulee oksapesurin pesuvesistä. Ajonopeuksien ollessa pieniä rejektin virtausmäärä pienenee huomattavasti, mikä vähentää hiekanerottimen läpi kuidunerottajalle pumpattavaa kokonaisnestemäärää. Suhdeasettelu säättää kuidunerottajan läpi pääsevää rejektimäärää suhteella, joka lasketaan oksanerottimen rejektin virtauksesta. Kun virtausmäärä pienenee huomattavasti, kuidunerottaja sulkee rejektiventtiiliä tietyllä laskennallisella arvolla. Kuidunerottajan akseptiventtiilillä säädetään oksapesurin akseptipintaa. Tästä johtuen paine-ero ei ole juuri säädettävissä, koska läpi virtaava nestemäärä pysyy koko ajan vakiona. Kuidunerottajan syöttöpaineen noustessa nousee myös hiekanerottimen akseptipaine. Hiekanerottimen paine-eron noustessa hiekanerottimen erottelukyky heikenee. Tällaisessa tilanteessa oksanerottimen rejektin virtauksen määrää tulisi nostaa kuidunerottajan virtausmäärän lisäämiseksi. Tällöin hiekanerottajan paine-ero saataisiin suuremmaksi hiekanerottelun parantamiseksi. Koska oksapesurin pintaa säädetään kuidunerottajan läpi virtaavalla nesteellä, voitaisiin hiekanerottimen läpi virtaavaa nestemäärää kasvattaa ja akseptipainetta pienentää tekemällä putkistolinja hiekanerottimen akseptipuolelta hiekanerottimen imupuolelle. Tällä linjalla voitaisiin poikkeavissa ajotilanteissa säätää hiekanerottimen akseptipaine oikeaksi kuitenkin pitäen oksapesurin akseptipinnan korkeus vakiona.

6.1.2 Ympäröivä prosessi hienolajittelussa

Hienolajittelussa tilanne on täysin erilainen oksamassan käsittelyyn verrattuna. Hiekanerottimelle päästään pumppaamaan rejektiä miltei vapaasti. Hienolajittelussa hiekanerottimelle on yksittäinen syöttöpumppu, ja erottimelle pumpataan 3-painelajittimesta tulevaa rejektiä, jota laimennetaan pumpun imupuolelle tulevasta linjasta suodossäiliöstä. Hiekanerottimen akseptiputki pääsee purkamaan akseptin lähes ilmanpaineessa olevaan rejektipesuriin, jolloin paine-ero syntyy luontaisesti, kun prosessissa ei ole vastapainetta aiheuttavia laitteita. Hienolajittelun hiekanerottimeen pätevät samat säädöt ja toimintaperiaatteet kuin oksamassan käsittelyssä olevaan hiekanerottimeen.

6.2 Ohjelmallinen optimointi

Ohjelmallisessa optimoinnissa säätö tehdään Metson DNA -järjestelmästä. Tärkeimmät ohjelmalliset muutokset, joita voidaan helposti muuttaa ajon aikana, ovat rejektin tyhjennysajat ja hiekanerottimille syöttävän pumpun orjaventtiilin säätö. Pumpun orjaventtiilin säädöllä voidaan nostaa tai laskea hiekanerottimen syöttöpainetta. Syöttöpaine tulisi säätää mahdollisimman ylös paine-eron maksimoimiseksi, kuitenkin pitäen huolen, ettei akseptipaine nouse liikaa tai laitteiston maksimikäyttöpaine ylity. Pienillä ajonopeuksilla kuidunerottaja alkaa nostamaan hiekanerottimen akseptipainetta. Sen vuoksi oksanerottimen rejektin laimennukselle tulisi kaskadiohjauksella asettaa minimilitra-arvo tai laittaa se käsiajolle ja valita riittävän suuri laimennuslitramäärä, ettei hiekanerottajan paine-ero pääse laskemaan.

Hienolajittelun hiekanerottimen rejektointisekvenssin ohjelmassa oli virhe. Vaihe, jossa venttiili V3 sulkeutuu ja V4 aukeaa, rejektisäiliön huuhtelu oli ohjelmallisesti ajastettu kestäämään noin minuutin. Rejektisäiliö kuitenkin tyhjenee muutamassa sekunnissa huuhteluventtiilin auetessa. Sekvenssiä lyhennettiin 55 sekunnilla. Tällä muutoksella saatiin koko rejektointisekvenssin pituutta lyhennettyä huomattavasti ja lisättyä laitteen optimaalista käyttöaikaa.

6.3 Kuituhäviön minimointi

Rejektoidessa hiekanerottaja aiheuttaa aina jonkin verran kuituhäviötä. Rejektin mukana voi päästä kuituja rejektisäiliöön (Kuva 10). Kuituhäviön pienentämiseen pystytään vaikuttamaan laimennusveden määrällä, syötön ja akseptin paineeroilla sekä rejektisäiliön tyhjennysajoilla. Laimennusveden virtauksen ollessa liian pieni, pääsee kuituja karkaamaan rejektin mukana alas rejektisäiliöön. Laimennusveden virtausta suurentamalla apektiin päätyvä rejektin ja massan seos laimenee ja osa kuiduista siirtyy ilmasydämeen poistuen akseptina.

Kasvattamalla rejektointiaikaa mahdollisimman suureksi, rejektisäiliöön päätyneen hiekan määrä kasvaa ja hiekan yläpuolella pyörteilevän kuidun määrä pienenee. Näin saadaan kuituhäviötä pienennettyä ja laitteen tehokasta käyntiaikaa kasvatettua. Rejektointiajan kasvattaminen myös vähentää jäteveden käsittelyyn päätyvän lipeisen nesteen määrää ja sitä kautta vähentää jäteveden käsittelyn kuormaa. Optimaalinen aika tyhjennykselle valmistajan ohjeen mukaan on, kun näkölasin alareunassa on nähtävissä rejektin pinta. Operaattorin tehtävä on suorittaa kyseinen tarkkailu. Rejektin määrää on tarkkailtava eri ajotilanteiden mukaan.

7 Käyttövarmuus

7.1 Materiaalivalinnat

UPM Kaukaan sellutehtaalla on ollut käytössä perusrakenteeltaan kahden tyyppisiä kartioita: valmistajan toimittamia painosorvattuja kartioita ja paikallisen konepajan valmistamia kanttaamalla ja hitsaamalla valmistettuja kartioita. Nyt käytössä on vain kanttaamalla ja hitsaamalla valmistettuja kartioita, jotka ovat hankintahinnaltaan edullisempia kuin painosorvatut kartiot. Painosorvatun kartion etu on sen huomattavasti pidempi käyttöikä oikein säädetyssä hiekanerottimessa. Molempien kartioiden perusmateriaali on sama haponkestävä teräs EN 1.4404.

7.2 Huolto

Yksittäisen hiekanerottimen kartion vaihtoon kuluva aika on vaihtotyönä noin puolesta tunnista kahteen tuntiin. Laitteen turvallistaminen vie kuitenkin aikaa,

joten realistinen kartion vaihtoon kuluva kokonaisaika on kahden ja neljän tunnin välillä. Kartion vaihdon pystyy suorittamaan muun prosessin käydessä, mutta se edellyttää sitä, että koko hiekanerotinlaitteisto ohitetaan. Tämä tilanne ei ole toivottu, ja optimaalinen tilanne olisi vaihtaa kuluneita komponentteja osastoseisokeissa, joiden aikana koko kuitulinja seisoo.

Nyt käytössä olevien kartioiden nopea kuluminen aiheuttaa lisäkustannuksia. Nykyisiin käytössä oleviin kartioihin siirryttiin kustannussäästöä tavoitellen. Hiekanerottimia ei kuitenkaan ole pystytty säätämään kunnolla, mikä on aiheuttanut sen, että kokeiltaessa valmistajan toimittamia kartioita niidenkin käyttöikä on ollut varsin lyhyt. Valmistajan toimittamat kartiot ovat hieman yli kaksi kertaa kalliimpia kuin nyt käytössä olevat. Oikealla laitteiston säädöllä ja säädettävyydellä alkupeäraisten kartioiden tuoma pidempi käyttöikä tuo kustannussäästöjä.

Operaattoreiden suorittamilla vuoroittaisilla kierroksilla tulisi tarkastaa laimennusveden oikea määrä sekä kaikkien hiekanerottimeen kuuluvien komponenttien ja mittalaitteiden toimintakunto. Ennakkohuollollisesti pidemmissä osastoseisokeissa laitteiston toimintavarmuuden kannalta olisi hyvä tarkastaa kartioiden ja laimennuskartioiden kuluneisuus. Tällä voitaisiin ehkäistä tarpeettomia laiterikkoja. Hiekanerottimen tärkeitä käytössä olevia kuluvia komponentteja ovat syöttöpää, kartio, venttiilit V3 ja V4 sekä laimennuskartio. Näiden komponenttien tarkastus tulisi sisällyttää pidempisiin osastoseisokkeihin vuosittain.

7.2.1 Geometria

Hiekanerotin on tarkka kartion ja syöttöpään geometriasta. Tarkan pyörteen aikaansaaminen vaatii osien mittatarkkuutta. Valmistuksessa tapahtuneista poikkeamista aiheutuvat häiriöt virtaukseen voivat joko heikentää hiekanerotuskykyä tai aiheuttaa ennen aikaista kulumista.

Hiekanerottimen kartion kulumista voidaan vähentää kasvattamalla kartion ja syöttöpään halkaisijoita. Jos kartio rakennetaan useista komponenteista, niiden liitoskohtien tulisi olla portaattomat. Virheet kartion sisäpinnassa mahdollistavat jo ulkoreunalle erottuneen raskaan partikkelin pääsemisen takaisin sisempään osaan pyörrettä näin heikentäen erottelutehokkuutta. Sileäpintaisten kartiot kas-

vattavat paine-eroa sekä erottelutehokkuutta. (Svarovsky 1984, 110.) Nyt käytössä olevat kartiot ovat kantattuja ja pyöreäksi mankeloituja, ja ne on hitsattu kartion ulkopuolelta (Kuva 13).



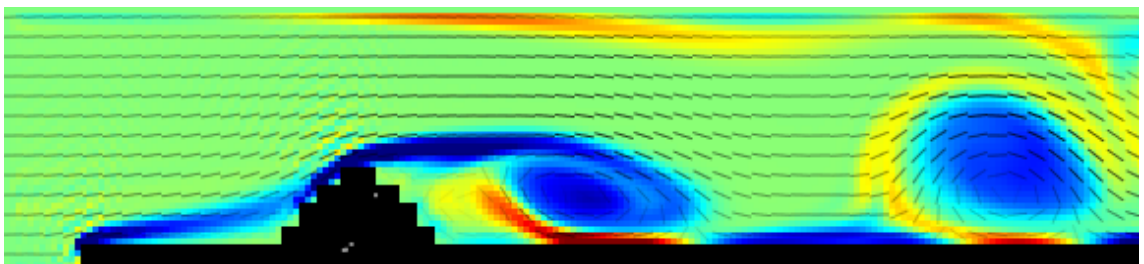
Kuva 13. Kantattu kartio

Tämä aiheuttaa kartioissa nopeaa kulumista. Kulumisen keskittyy kanttauksista ja huonosta hitsaussauman viimeistelystä johtuen kanttauskohtien reunoille ja hitsaussaumaan. Massan pyöriessä kartiossa, edellä mainittuihin kohtiin muodostuu pyörteilyä, joka kiihdyttää kulumista. Kuten kuvasta 14 nähdään, kulumisen on saanut alkunsa kartiossa olevista kanttausjäljistä ja hitsaussaumasta. Kartio on lopulta kulunut puhki hitsaussauman vierestä pyörimissuunnasta myötäpäivään katsoen. Kaikissa kartioissa kulumismalli on sama, ja suurin kulutus tulee siihen kohtaan kartiota, jossa hitsaussauman vastinpinnat ovat kauimpina toisistaan.



Kuva 14. Puhki kulunut kartio

Alla olevassa yksinkertaisessa simulaatiossa (Kuva 15) on kuvattu kartion sisäpinnassa olevan virheen aikaansaama pyörteily. Sama ilmiö tapahtuu kartion pinnalla aiheuttaen virheen eli tässä tapauksessa hitsaussauman jälkeiseen kohtaan pyörteen, joka kuluttaa kartiota.



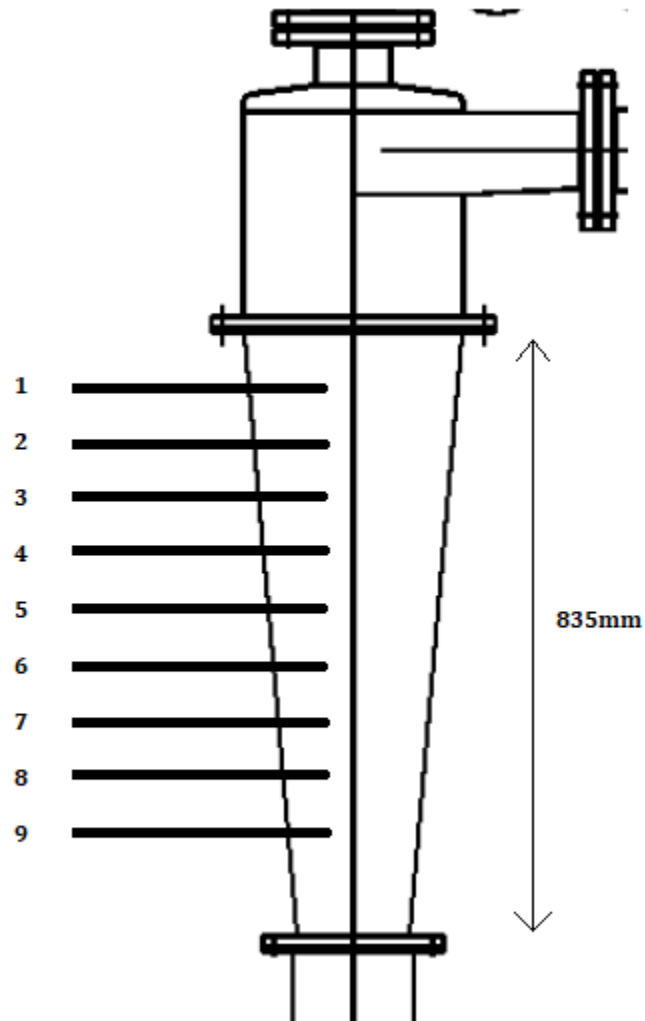
Kuva 15. Virheen aiheuttama pyörteily (Schroeder, D. Weber State University)

Yhteen hitsatuista kartioista suoritettiin paksuusmittauksia hitsaussauman vastaiselle puolelle. Paksuusmittauksista on nähtävillä kartion vähäinen kuluminen. Jos käytössä olisi geometrisesti tarkka kartio, kuluminen ei keskittyisin yhteen

tiettyyn sektoriin kartiossa. Kuluminen jakautuessa tasaisesti koko kartion alalle sen käyttöikä tulisi olemaan moninkertaisesti pidempi. Hitsattujen kartioiden seinämän aineenvahvuus on ollut uutena 4 mm. Toinen huomioitava seikka on alue, jolle suurin kuluminen on keskittynyt. Kulutus keskittyy normaalissa ajotilanteessa kartion alaosaan, jonne raskaimmat partikkelit painuvat. Mitattu kartio oli otettu vikaantuessaan hienolajittelun hiekanerottimesta. Kartio vikaantui nopeasti vuotavan rejektisäiliön huuhteluvesiventtiilin takia. Hiekka ei päässyt painumaan kartion alaosaan ja rejektoitumaan liiallisen laimennusveden syötön takia, minkä johdosta kuluminen siirtyi kartiossa keskivaiheelle. Tämä on nähtävillä kartioon suoritetuista mittaustuloksista (Kuva 16). Mittaus suoritettiin poraamalla kartioon reikiä ja puhdistamalla reikien ympäristöt purseista tarkan mittaustuloksen saamiseksi. Mittauspisteet ovat järjestyksessä kartion ylemmän laipan sisäpinnasta juoksevasti alaspäin (Kuva 17).

	Etäisyys	Ainevahvuus	Kuluma
Mittauspiste 1	141 mm	4,0 mm	0,0 mm
Mittauspiste 2	215 mm	4,0 mm	0,0 mm
Mittauspiste 3	270 mm	3,9 mm	0,1 mm
Mittauspiste 4	350 mm	3,5 mm	0,5 mm
Mittauspiste 5	415 mm	3,0 mm	1,0 mm
Mittauspiste 6	503 mm	3,0 mm	1,0 mm
Mittauspiste 7	582 mm	3,0 mm	1,0 mm
Mittauspiste 8	663 mm	3,7 mm	0,3 mm
Mittauspiste 9	745 mm	3,7 mm	0,3 mm

Kuva 16. Mittauspisteet



Kuva 17. Havainnollistava kuva mittauspisteistä

7.2.2 Materiaali

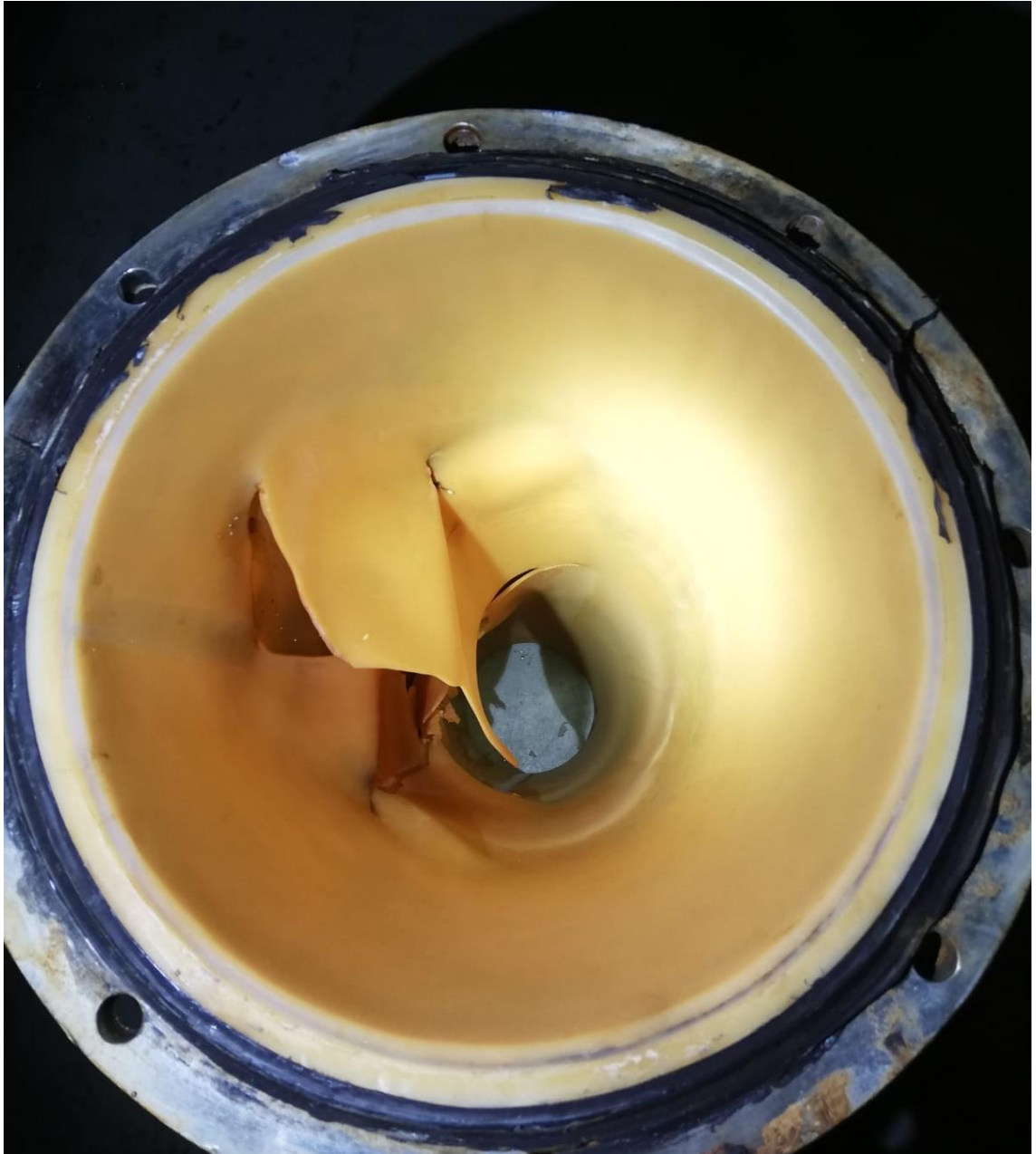
Kartioita on saatavilla eri materiaaleina. Laitteiston tullessa UPM Kaukaan sellutehtaalle kartiot olivat laitteen toimittajan valmistamia painosorvattuja kartioita. Painosorvauksen etuja ovat erittäin tarkka geometrinen tarkkuus, materiaalin karkeistuminen ja erinomainen kulumisen kesto. Nykyaikaiset kartiot voivat olla vuorattu polyuretaanilla tai esimerkiksi keraameilla.

Yleisimmät käytössä olevat materiaalit ovat teräs, kumi, keraami, posliini, bake-liitti ja erilaiset muoviseokset ja komposiitit. Erityisesti kovaa kulutusta kestäviä materiaaleja ovat piikarbidi, alumiinioksidi sekä pintaan valetut kumilaadut. Muoveilla ja kumeilla on kuitenkin rajoitettu lämmönsietokyky. Tutkimuksissa on havaittu, että polyuretaanit verrattuna perinteisiin teräksisiin kartioihin voivat kestää jopa kolme kertaa kauemmin. Keskimäärin polyuretaanilla vuoratut kartiot kestävät kaksi kertaa pidempään kuin kumiset tai keraamiset. (Svarovsky 1984, 82.)

7.2.3 Pinnoitteet

Kaukaalla on ollut kokeilussa useita erilaisia pinnoitettuja kartioita. Pinnoitetut kartiot ovat joko olleet uusia tai puhki kuluneista kartioista korjattuja kartioita. Pinnoitteen lisäämisen jälkeen saataessa kartion sisäpuoli pyöreäksi ei kulumisesta aiheutuneesta virheestä alkuperäisessä kartiossa ole haittaa. Hyvin menestyneitä pinnoitteita ovat olleet PVDF eli polyvinyyliidenifluoridipinnoitteet (Kuva 18). Pinnoite on levymäinen materiaali, joka painetaan kartion sisäpintaan ja hitsataan yhtenäiseksi osaksi. Pinnoitteen asentaminen vaatii kartion lyhentämistä 10 mm, jotta kartion molempiin päihin saadaan muovihitsattua laipat, jotka tekevät pinnoitteesta tiiviin koko kartion matkalta.

PVDF-materiaali on osoittautunut hyvin abrasiivista kulutusta kestäväksi, mitä hiekanerottimen kartioilta vaaditaan. PVDF-pinnoitteisissa kartioissa on kuitenkin prosessin kannalta epäedullinen rikkoontumismalli. Yhdessä tapauksessa pinnoite oli päässyt kohoamaan irti kartion sisäpinnasta aiheuttaen kohonneeseen kohtaa poikkeavaa kulumista. Pinnoite oli kulunut tästä kohdasta rikki aiheuttaen pyörteessä olevan massan pääsyn pinnoitteen ja kartion väliin repien pinnoite-materiaalin irti. Tilanne on erityisen haasteellinen, koska kartion sisään ei ole suoraa näköyhteyttä, ja tämäntyyppistä vauriota ei ole mahdollista havaita ulkoa päin. Tästä seurauksena kyseisen kartion hiekanerottelukyky joko katoaa kokonaan tai repeämä häiritsee pyörrettä kartiossa niin, ettei laite toimi optimaalisesti.



Kuva 18. Rikkoontunut PVDF-pinnoite

Kokeilussa on ollut myös ARC T7AR keraamivahvisteinen pinnoite. Pinnoite joudutaan levittämään käsin. Tästä syystä kartion sisäpinta jää karheaksi ja tarkka pyöreys on mahdotonta saavuttaa. Kartio kului puhki normaalia nopeammin kulumisen keskittyessä yhteen kohtaan. Kulumisen on lähtöisin geometrisestä virheestä, joka syntyy pinnoitetta levittäessä. Tätä pinnoitemateriaalia ei ole suositeltavaa käyttää kartioissa.

Kolmas pinnoitetyyppi on ARC MX1 hybridiepoksiharsi, jonka vahvikkeena toimii alumiinioksidi ja piikarbidi. Tästä pinnoitteesta ei vielä ole tarkempia tietoja, koska kyseistä pinnoitettua kartiota ei ole poistettu laitteesta, eikä sen asennussijaintia tai käyttöaikaa ole dokumentoitu. Kartio on voitu myös poistaa laitteesta normaalin arkityöajan ulkopuolella ja hävitetty täten hävittäen arvokkaan tiedon. Kyseinen pinnoite voisi olla kustannustehokas ratkaisu tuloksien selvittyä.

7.2.4 Kustannukset

Suurimmat hiekanerottimien kunnossapidon kustannukset muodostuvat kartioiden vaihdoista ja levyluistiventtiilien kunnostuksista. Näiden komponenttien rikkoontuminen aiheuttaa häiriöitä prosessiin laitteiston joutuessa ohitukselle. Levyluistiventtiileistä ollaan luopumassa syksyllä 2020, joten niiden varastomäärä pyritään ajamaan alas ja kunnostukset tehdään vain tarvittaessa.

Levystä hitsaamalla ja kanttaamalla valmistettu kartio on alkuperäistä kartioita noin puolet halvempi. Kartioiden nopea kuluminen kuitenkin nostattaa kunnossapitokustannuksia niin miestyötunteina kuin tihentyneinä vaihtoina. Saataessa kulumisen jaettua koko kartion halkaisijalle, kestävyys olisi huomattavasti pidempi. Jo käyttöiän kaksinkertaistuessakin kunnossapitokustannukset pienisivät ja vaihtoon käytettävät miestyötunnit voisi kohdentaa muualle. Laimennusveden sijainnin vaihdolla ja vesilaadun muuttamisella kulumista voitaisiin ehkäistä vieläkin paremmin oksanerotuksessa. Jos PVDF-pinnoitteiden kiinnipysymiseen löytyy ratkaisu, ne voisivat olla erittäin kustannustehokas ratkaisu. Keraamisen kartion hinta on hitsattuun kartioon verrattuna seitsenkertainen ja toimittajan alkuperäiseen kartioon verrattuna kolminkertainen. Keraamisen kartion käyttöiän täytyisi siis olla moninkertainen kustannussäästöjen aikaan saamiseksi.

8 Laiteparannukset

8.1 Komponentit

Oksapuolen hiekanerotuksessa on käytössä levyluistiventtiilit venttiilien V3 ja V4 paikalla. Venttiilien rungot ovat vanhoja ja osa niistä erittäin kuluneita. Kyseiset

venttiilit ovat kuitenkin hyvin huollettavia ja niihin on saatavilla varaosia. Suurimpia ongelmia venttiilien toiminnassa aiheuttavat jatkuvat ulospäin suuntautuvat vuodot. Venttiilit eivät toimi halutulla tavalla, vaan avautumis- ja sulkeutumisliikkeitä ovat nykiviä. Venttiilit saattavat myös aika ajoin jäädä jumiin auki- ja kiinni-asennon välille. Nämä seikat aiheuttavat ohjelmallisen ohjaamisen kannalta ongelmia sekvenssien pituuksien vaihdellessa. Havukuitulinjan venttiilit on kuitenkin tarkoitus vaihtaa kalottimaisiin palloventtiileihin syksyllä 2020. Palloventtiileistä on hyviä kokemuksia koivukuitulinjalla, jonne ne asennettiin tammikuussa 2019. Palloventtiilien toiminta on ollut varmaa eikä sisäisiä tai ulkoisia vuotoja ole havaittu.

Hiekanerotin kartiot tulisi palauttaa takaisin alkuperäisiksi painosorvatuiksi kappaleessa 8.2.1 käsitellyn nopean kulumisen johdosta. Oikealla laitteiston säädöllä niiden kestoikä tulisi olemaan huomattavasti pidempi kuin nyt käytössä olevilla hitsatuilla kartioilla.

Hiekanerotin kartion alla oleva huuhtelukartio, johon nyt syötetään laimennusvettä, tulisi päivittää uuden malliseen. Tässä muutoksessa laimennusveden paikka siirtyisi rejektisäiliön alareunaan. Laimennusveden siirtyessä rejektisäiliön alareunaan puhdas vesi kirkastaisi rejektisäiliössä olevan veden ja mahdollistaisi laimennusveden oikean määrän säätämisen näkölasista. Vanhan rejektisäiliön voisi muuttaa tai hankkia kokonaan uusi malli. Uuden mallin hankkiminen kuitenkin vaatisi rejektisäiliön huuhteluvesilinjan siirtämisen hieman eri kohtaan.

8.2 Mittaukset

Hiekanerotimista puuttui tai oli lähtötilanteessa rikkoontunut säädön kannalta tärkeitä mittalaitteita. Syöttöpaineen ja akseptipaineen tarkkailuun ja säätöön tarvittavat paikallismittaukset olivat rikkoutuneet, eikä luotettavaa tietoa ollut saatavilla paine-eroista. Hiekanerotin kartion apeaksin alapuolelle syötettävän laimennusveden virtausmittaukset olivat rikkoontuneet eikä laimennusveden määrä pystytty tarkkailemaan. Marraskuussa 2019 lisättiin jokaiselle hiekanerotimelle uudet paikallismittaukset syöttö- ja akseptipaineille, sekä DNA-järjestelmään tuotiin syötettävän paineen ja akseptipuolen paineen ja paine-eron laskenta.

Oksankäsittelyssä olevan hiekanerotuksen syöttöön tulisi lisätä virtausmittaus. Tällä hetkellä hiekanerottimille syötettävän nesteen litramäärää on mahdotonta tietää. Suurimmillaan yhdelle kartiolle syötettävä määrä on 24 l/s. Tämä perustuu hiekanerottimille syötettävän pumpun maksimituottoon. Yhden viidestä hiekanerotimen vikaantuessa, virtausmittauksen ollessa asennettuna, virtausmäärän voisi säätää laitteistolle optimaaliseksi ja tilapäisesti ajaa laitteistoa ilman yhtä hiekanerotinta. Tämä lisäisi laitteen tehokasta käyntiaikaa, ja huoltoja voitaisiin suorittaa suunnitellusti tehokkaammin. Toisen hiekanerottimen vikaantuessa saataisiin samalla laitteiston käyttökatkoksella tehtyä enemmän kunnossapitotöitä ja laitteen käyntiaikaa pidennettyä.

9 Yhteenveto ja pohdinta

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin sellutehtaan havukuitulinjan hiekanerotusta. Kulumiselle ja hiekanerotuksen puutteille löydettiin selkeitä syitä, jotka olivat komponenttien geometria ja puutteet laitteen säätömahdollisuuksissa. Opinnäytetyö aloitettiin joulukuussa 2019 ja sen kirjoittamiseen käytettiin viisi kuukautta. Opinnäytetyön edetessä pidettiin opinnäytetyöpalavereita niin toimeksiantajan kuin ohjaavan opettajan kanssa. Esitin opinnäytetyön aiheita itse huomattuani puutteita laitteiston toiminnassa kesätöissä ollessani.

Opinnäytetyön valmistumista viivästyttivät miltei kuukauden kestäneet työtaistelut, joiden aikana laitteisto ei ollut käytössä, eikä optimointia tai näytteidenottoa voinut suorittaa. Laboratorionäytteet osoittautuivat epäluotettaviksi asianmukaisien näytteenottopaikojen puutteen vuoksi. Ainut mittari, jolla tuloksia optimoinnista pystyttiin todentamaan, oli oksanerotuksen hiekanerotuslaitteiston vikaantumisvälin pidentyminen. Vuonna 2019 syyskuun alkuun mennessä kartioita oli vaihdettu neljä kappaletta. Suoritin laitteistoon noihin aikoihin ensimmäiset säädöt, minkä jälkeen 21.5.2020 mennessä yhtään kartiota ei ole rikkoontunut. Laitteistossa on kuitenkin edelleen useita kartioita, jotka olivat säätötilanteessa jo pitkään käytössä olleita. Uskon päässeeni hyvään lopputulokseen, sillä laitteiston vikaantumistiheys on harventunut. Huhtikuun lopulla 2020 sain uusimman version saman laitteiston konekirjasta, joka tukee johtopäätöstä siirtää laimennus-

veden syöttö rejektisäiliön alareunaan. Totesin opinnäytetyötä tehdessäni liiallisen laimennusveden käytön heikentävän erottelukykä ja kuluttavan kartiota. Myös tämä on mainittu uudessa konekirjassa.

Kun näytteenottimet saadaan asennettua, tulisi vielä paneutua hiekanerottimien tehokkuuteen. Jatkotutkimusehdotuksena esitän erilaisten pinnoitemahdollisuuksien kokeilua ja hiekkakartoituksen suorittamista hienolajittelun hiekanerotukseen. Opinnäytetyön perusteella on tarkoitus palauttaa laitteiston puutteelliset mittalaitteet toimintakuntoon ja vaihtaa komponentteja parempiin niiltä osin kuin työn toimeksiantaja näkee tarpeelliseksi.

Lähteet

CanAm Machinery Inc. 2002. https://www.canammachinery.com/data/Images/38249_66440.pdf. Luettu 9.1.2020.

Knowpulp 2020a. Sulfaattisellun valmistus. Luettu 4.5.2020.

Knowpulp 2020b. Pyörrepuhdistimet. Luettu 4.5.2020.

Luo, Q. & Xu J. R. 1992. The effect of the air core on the flow field within hydrocyclones. Teoksessa Svarovsky, L. & Thew, M. T. (toim.) Hydrocyclones. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 51-62.

Nevalainen, T. 2020. Kehitysinsinööri. UPM-Kaukas. Lappeenranta. Haastattelu 25.05.2020.

SAP 1995. Sellutehdas (Uusi), Ruskean massan käsittely havulinja, Oksankäsittelylaitteisto, Hiekanerottimet. Luettu 09.01.2020.

Schroeder, D. Weber State University. <https://physics.weber.edu/schroeder/fluids/>. Luettu 17.4.2020.

Svarovsky, L. 1984. Hydrocyclones. East Sussex: Holt, Rinehart and Winston Ltd, 31, 82, 109-110.

UPM 2020. UPM Kaukas. <https://www.upmpulp.com/fi/upm-kaukas/>. Luettu 29.3.2020.

UPM Intranet 2020. UPM Biofore – Beyond fossils -esittelymateriaali. Luettu 13.5.2020.

UPM Intranet 2019. Toiminta Kaukaan tehdasalueella -esittelyaineisto. Luettu 14.5.2020.



Project number KAUPM-002
 Project name Kaukas Pulp Mill R&D services
 Customer Juha Keltanen
 Samples arrived: 3.3.2020
 Testing was started: 3.3.2020

NERC

Description		KAUPM, Hiekanerotus, aksepti, 26.02., 9:56, 243.36	KAUPM, Hiekanerotus, aksepti, 26.02., 9:56, 243.41	KAUPM, Hiekanerotus, "Huono" näyte, 26.02., 10:08, 243.51	KAUPM, Hiekanerotus, "Huono" näyte, 26.02., 10:08, 243.73
Trialpoint					
LIMSno	Unit	20-03610-001	20-03610-002	20-03610-003	20-03610-004
Sampling date		27.2.2020 10:05	27.2.2020 10:05	27.2.2020 10:05	27.2.2020 10:05
Parent id					
Consistency	%	1,22	0,70	1,01	0,90
Ash 525°C	g	< 0.1	0,1336	< 0.1	< 0.1
Handling of samples, 2h		Done	Done	Done	Done
Mass	kg	3,5	2,9	4,4	3,8
Tuhkapitoisuus	%	0	4,61 %	0	0
COMMENTS:		Report			
20-03610-002		tuhka 525: tehty 2h nosto 350 3h pito, 2h nosto 525 10h pito. Pelkistä suodatin papereista tuli kummastakin tuloksiksi: 0%. - SRO-			